

5. **Trockenbearbeitung** ist Wirtschaftlich und Umweltfreundlich. *Maschinenmarkt*, 2001, 29, 20–23.
6. **Oczko, K. E.** (2002) Rozwój Innowacyjnych Technologii Ubytkowego Kształtowania Materiałów, Cz. I. *Mechanik*, 8–9, 537–550.
7. **Weniger** ist oft Mehr. *Maschine + Werkzeug*, 1996, 9, 81–84.
8. **Klushin, M. I., Tikhonov, V. M., & Troitskaya, D. A.** (1966) *Cooling and Lubrication with Spraying Liquid While Cutting Metals*. Gorky: Volgo-Viatsky Book Publishing House (in Russian).
9. **Katalog Sandvik Coromant C-1102:2-POL/01**, 2002.
10. **Sobol, I. M., Statnikov, R. B.** (1981) *Selection of Optimum Parameters for Problems with Multiple Criteria*. Moscow, Science. (in Russian).
11. **Klocke, F., Kreig, T.** (1999) Coated Tools for Metal Cutting, Features and Applications. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 48 (2), 515–525.
12. **Feldshtein, E. E.** (1985) Application of ЛП<sub>т</sub>-Sequential Method for Analysis of Multi-Factor Dependences in Metal Cutting. *Izvestiia Vuzov. Mashinostroenie* [News of HEIs. Mechanical Engineering], 3, 148–151 (in Russian).
13. **Feldshtein, E.** (2003) Prawdłowości Kształtowania Stereometrii Powierzchni Elementów ze Spiekanych Materiałów Porowatych na Bazie Żelaza. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, 23, 25–33.
14. **Ordinartsev, I. A., Filippov, G. V., Shevchenko, A. N., Onishko, A. V., & Sergeev, A. K.** (1987) *Reference Book for Toolmaker*. Leningrad, Mashinostroenie (in Russian).

Поступила 22.11.2013

УДК 676.019.2

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУФАБРИКАТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УПАКОВКИ

*Докт. техн. наук КУЗЬМИЧ В. В.**Белорусский национальный технический университет*

E-mail: kuzmich@tut.by

Проведены исследования различных технологий переработки растительного сырья с целью получения целевого продукта, используемого для производства упаковки. Изучено влияние технологических режимов и введения добавок свежего полиэтилена в уже утилизированное сырье на качественные показатели целевого продукта. Исследования водного предварительного гидролиза растительного сырья показали, что для получения высокого качества целлюлозы из растительного сырья необходимо, чтобы в ней содержалось не менее 2–3 % гемицеллюлоз, иначе ее качественные показатели значительно ухудшаются, что имеет определенное значение для производства упаковки. При этом использование водного раствора углекислого газа для предварительного гидролиза растительного сырья способствует уменьшению разрушения углеводов целлюлозы. В результате возрастают качественные показатели получаемого целевого продукта – целлюлозы, используемой для производства упаковки.

На основе полученных автором данных по содержанию гемицеллюлоз в целлюлозе разработаны режимы проведения сульфатных варок растительного сырья с предварительным гидролизом с целью улучшения физико-механических показателей целевого продукта – целлюлозы.

Полученные результаты при исследовании утилизированных полимеров показали, что характерно возрастание содержания в них низкомолекулярных продуктов. Все это указывает на то, что при использовании полимеров после нахождения их в свалке получаемая из них упаковка будет иметь более низкие качественные показатели. Поэтому во избежание этого при переработке таких полимеров следует добавлять 20–30 % свежих.

**Ключевые слова:** способ переработки сырья, целевой продукт, упаковка.

Табл. 2. Библиогр.: 10 назв.

## INFLUENCE OF VARIOUS RAW MATERIAL AND TECHNOLOGICAL REGIMES OF ITS RECYCLING ON QUALITATIVE INDICES OF SEMI-FINISHED PRODUCT USED FOR PACKAGE PRINTING

KUZMICH V. V.

*Belarusian National Technical University*

The paper has investigated influence of various technologies on recycling of vegetal raw material with the purpose to obtain the desired product used for package printing. Influence of various technological regimes and introduction of fresh polyethylene additives for recycled raw material on qualitative indices of the desired product has been studied in the paper. Investigations of preliminary aquatic hydrolysis of vegetal raw material have shown that in order to obtain high quality cellulose from vegetal raw material it is necessary that this cellulose has not less than 2–3 % of hemicellulose otherwise its qualitative indices are significantly deteriorated that is important for packaging printing. Usage of carbon dioxide aqueous solution for preliminary vegetal raw material hydrolysis contributes to reduction in destruction of cellulose carbo-hydrate. This improves qualitative indices of the obtained desired product that is cellulose which is used for package printing.

Recommendations for sulphate pulping of vegetal raw material with preliminary hydrolysis have been prepared with the purpose to improve physical and mechanical characteristics of the obtained desired product – cellulose on the basis of the obtained data on content of hemicellulose in cellulose.

While investigating recycled polymers the obtained results have demonstrated that increase of low-molecular product content in them looks rather typical. This suggests that packaging will have lower qualitative indices while using polymers being kept in waste deposits. In order to avoid this phenomena it is necessary to add 20–30 % of fresh polymers during their recycling.

**Keywords:** method for raw material recycling, desired product, packaging.

Tab. 2. Ref.: 10 titles.

**Введение.** В целлюлозно-бумажном производстве в основном используются три способа химической переработки различного целлюлозо-содержащего сырья: натронный, сульфатный и сульфитный [1, 2]. Каждый из указанных способов переработки растительного сырья имеет свои преимущества и недостатки. Цель проводимых исследований – установление влияния технологических режимов и различных видов варок разного растительного сырья на качество волокнистого полуфабриката, используемого для производства упаковки.

Каждый из способов переработки растительного сырья влияет на химические и физические свойства получаемого целевого продукта – целлюлозы и полуцеллюлозы. При щелочных варках растительного сырья (натронной или сульфатной) выход целевого продукта, используемого для производства бумаги и упаковки, снижается на 3–4 % (по сравнению с сульфитной варкой). Важная роль при этом отводится легкогидролизуемым гемицеллюлозам, от содержания которых в целлюлозе зависит ее выход.

**Сырье для упаковки и способы его переработки.** Для производства высококачествен-

ной упаковки следует использовать сырье, полученное после сульфатной варки растительного сырья, в котором содержатся альфа-целлюлозы. Следует отметить важное свойство сульфатной целлюлозы, так как она обладает лучшими бумагообразующими свойствами, чем сульфитная [1]. Причем волокна сульфатной целлюлозы гибче и дают сомкнутый и менее прозрачный лист, обладающий более высоким сопротивлением к разрыву и продавливанию, имеющий повышенное сопротивление надрыву и излому, что важно для изготовления высококачественной упаковки. Одно из требований, которое должна предъявлять упаковочная отрасль к сырью, – повышение содержания альфа-целлюлозы в целлюлозе.

В производстве сульфитной целлюлозы в настоящее время с целью повышения количества в ней альфа-целлюлозы следует главным образом использовать горячее облагораживание с разработкой технологических режимов. При этом нужно заметить, что горячее облагораживание целлюлозы, полученной сульфатным способом, не приводит к должному успеху. Кроме того, по сравнению сульфатной

варкой древесины, в обычной целлюлозе сульфитной варки более высокое содержание гемицеллюлоз и пентозанов. При этом в сульфатной целлюлозе количество гемицеллюлоз, стойких к действию щелочи, больше, т. е. таких, которые удаляются лишь концентрированными растворами щелочи (едким натром) или не поддаются удалению без разрушения самой клетчатки (целлюлозы). Это объясняется тем, что при сульфатной варке растительного сырья отсутствует его кислотный гидролиз. Тогда как при сульфитной варке под действием кислотного раствора происходит гидролиз древесины и растворяются легкогидролизуемые гемицеллюлозы. В результате происходит частичное расщепление цепей гемицеллюлоз, остающихся нерастворенными в процессе варки, а также ослабление или разрушение связи с лигнином и целлюлозой растительного сырья, что способствует удалению этих гемицеллюлоз при последующем щелочном горячем облагораживании.

К гемицеллюлозам относят как полимерные ангидриды пентоз и гексоз, так и полисахариды с карбоксильными группами, называемыми полиуронидами [3, 4]. Кроме того, гемицеллюлозы и лигнин, входящие в состав сульфатной целлюлозы, равномерно распределены по всей толщине клеточных стенок, а в волокнах сульфитной целлюлозы основное количество гемицеллюлоз сосредоточено в периферийных слоях клеточных стенок и поэтому значительно более доступно действию разбавленных растворов щелочи, чем компоненты сульфатной целлюлозы [3, 4]. При этом свободная от гемицеллюлоз целлюлоза теряет способность к гидратации из-за их незначительного количества, так как не получается достаточно прочного листа. Проведенные автором исследования [5] показали, что для обеспечения достаточно прочной целлюлозы с целью получения упаковки необходимо, чтобы в ней содержалось 2–3 % гемицеллюлоз, которые более прочно связаны с целлюлозой (табл. 1).

При предварительном гидролизе растительного сырья, например еловой древесины, часть содержащихся в ней гемицеллюлоз переходит в раствор. Учитывая это обстоятельство, было отдано предпочтение предварительному гидролизу с использованием углекислого газа с целью смягчения разрушительных процессов углеводного комплекса. На основе полученных автором данных по содержанию гемицеллюлоз в целлюлозе были разработаны режимы проведения сульфатных варок растительного сырья с предварительным гидролизом с целью улуч-

шения физико-механических показателей получаемого целевого продукта – целлюлозы, что представляет предмет изобретения.

Таблица 1

**Физико-механические показатели целлюлозы  
в зависимости от содержания в ней гемицеллюлоз**

| Содержание гемицеллюлоз в целлюлозе, % | Размол, °ШР | Разрывная длина, м | Число двойных перегибов | Сопротивление |            |
|--|-------------|--------------------|-------------------------|---------------|------------|
|  |             |                    |                         | продавливаю   | раздиранию |
| 9,0                                    | 60          | 7890               | 510                     | –             | –          |
| 5,8                                    | 60          | 7860               | 505                     | 215           | 350        |
| 4,4                                    | 61          | 8010               | 580                     | 290           | 370        |
| 3,0                                    | 60          | 8450               | 650                     | 340           | 390        |
| 2,0                                    | 59          | 8370               | 640                     | 350           | 390        |
| Не содержит                            | 60          | 7240               | 495                     | 190           | 300        |

Выбор технологических параметров для переработки полимерных отходов и областей использования получаемых из них изделий обусловливается их физико-химическими и физико-механическими свойствами. При этом данные показатели в значительной степени отличаются от тех же характеристик первичного полимера. К основным особенностям вторичного полиэтилена низкой и высокой плотности, которые определяют специфику их переработки, относятся: химическая активность, насыпная плотность, особенности реологического поведения расплава, обусловленные высоким содержанием геля. Особенно следует учитывать изменение химической активности вследствие изменений структуры, происходящих при переработке первичного полимера и эксплуатации полученных из него изделий [6, 7–10].

Полученные данные по характеристике свойств полиэтилена низкой и высокой плотности (свежего и после нахождения в свалке в течение девяти месяцев) представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристика свойств полиэтилена  
низкой и высокой плотности**

| Характеристика  | Показатель |      |                            |      |       |
|---|------------|------|----------------------------|------|-------|
|   | исходный   |      | после нахождения на свалке |      |       |
|   | 1          | 2    | 1                          | 2    | 3     |
| Содержание низкомолекулярных продуктов, %   | 0,8        | 0,1  | 7,6                        | 5,2  | 2,2   |
| Разрушение при растяжении, МПа  | 14,3       | 16,4 | 10,2                       | 12,8 | 14,1  |
| Относительное удлинение при разрыве, %  | 390,0      | 78,0 | 35,0                       | 51,0 | 103,0 |
| <b>Примечания:</b> 1 – полиэтилен низкой плотности (ПЭНП); 2 – полиэтилен высокой плотности; 3 – с добавлением 20 % свежего полиэтилена (в утилизированный ПЭНП). |            |      |                            |      |       |

Из полученных в табл. 2 результатов следует, что изменение физико-механических показателей для полиэтилена низкой и высокой плотности разное. Однако при нахождении в свалке полиэтилена низкой и высокой плотности в течение девяти месяцев характерно снижение прочности при растяжении и уменьшение удлинения при разрыве. Также характерно возрастание содержания низкомолекулярных продуктов. Все это указывает на то, что при использовании полимеров после нахождения их в свалке получаемая из них упаковка будет иметь более низкие качественные показатели.

Следовательно, вторичное сырье из полимерных отходов необходимо подвергать модификации с целью улучшения качества и повышения срока службы произведенной упаковки.

### ВЫВОДЫ

Проведенные автором исследования водного предварительного гидролиза растительного сырья показали, что для получения высокого качества целлюлозы из растительного сырья необходимо, чтобы в ней содержалось не менее 2–3 % гемицеллюлоз, иначе ее качественные показатели значительно ухудшаются, что имеет определенное значение для производства упаковки. При этом использование водного раствора углекислого газа для предварительного гидролиза растительного сырья способствует уменьшению разрушения углеводов целлюлозы. В результате возрастают качественные показатели получаемого целевого продукта – целлюлозы, используемой для производства упаковки.

Полученные результаты при исследовании утилизированных полимеров показали, что характерно возрастание содержания в них низкомолекулярных продуктов. Все это указывает на то, что при использовании полимеров после нахождения их в свалке получаемая из них упаковка будет иметь более низкие качественные показатели. Поэтому во избежание этого при переработке таких полимеров следует добавлять 20–30 % свежих.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Непенин, Ю. Н. Производство сульфатной целлюлозы. Технология целлюлозы: в 2 т. / Ю. Н. Непенин. – М.: Лесная пром., 1990. – Т. 2. – 599 с.
2. Непенин, Н. Н. Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы производства целлюлозы: в 3 т. / Н. Н. Непенин, Ю. Н. Непенин. – М.: Экология, 1994. – Т. 3. – 592 с.

3. Химия гемицеллюлоз / В. И. Шарков [и др.]. – М.: Лесная пром., 1972. – 440 с.
4. Никитин, Н. И. Химия древесины и целлюлозы / Н. И. Никитин. – М.; Л.: АН СССР, 1962. – 710 с.
5. Карпунин, И. И. Влияние различного растительного сырья и технологических режимов варок его переработки на качественные показатели волокнистого полуфабриката, используемого для производства упаковки / И. И. Карпунин, В. В. Кузьмич, Т. Ф. Балабанова // Вестник БНТУ. – 2010. – № 6. – С. 528–530.
6. Ханлон, Дж. Ф. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение / Дж. Ф. Ханлон, Р. Дж. Келси, Х. Е. Форсинио. – СПб.: Профессия, 2004. – 632 с.
7. Клиников, А. С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: учеб. пособие / А. С. Клиников, П. С. Беляев, М. В. Соколов. – Тамбов: Гос. ун-т, 2005. – 80 с.
8. Локс, Ф. Упаковка и экология: учеб. пособие; пер. с англ. / Ф. Локс. – М.: МГУП, 1992. – 220 с.
9. Вторичная переработка пластмасс: пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2007. – 400 с.
10. Раувендааль, К. Экструзия полимеров: пер. с англ. / К. Раувендааль. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 с.

### REFERENCES

1. Nepenin, Yu. N. (1990) *Production of Sulphate Cellulose. Cellulose Technology*. In 2 Volumes. Moscow, Lesnaia Promyshlennost', Vol. 2 (in Russian).
2. Nepenin, N. N., & Nepenin, Yu. N. (1994) *Cellulose Purification, Drying and Bleaching. Other Methods for Cellulose Production*. In 3 Volumes. Moscow, Ecology, Vol. 3 (in Russian).
3. Sharkov, V. I., & Kuibina N. I. (1972) *Hemicellulose Chemistry*. Moscow, Lesnaia promyshlennost' (in Russian).
4. Nikitin, N. I. (1962) *Timber and Cellulose Chemistry*. Moscow-Leningrad: AS USSR (in Russian).
5. Karpunin, I. I., Kuzmich, V. V., & Balabanova, T. F. (2010) Influence of Various Vegetal Resources and Technological Cooking Modes of Their Processing on Qualitative Indices of Fibrous Semi-Product Used for Packaging Production. *Innovatsionnye Tekhnologii v Pishchevoi Promyshlennosti: Materialy IX Mezhdunarodnoi Nauchno-Prakticheskoi Konferentsii* [Innovative Technologies in the Food Industry: Materials IX International Scientific and Practical Conference]. Minsk, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus Food. 528–530 (in Russian).
6. Hanlon, J. F., Kelsey, R. J., & Forcinio, H. E. (2004) *Packaging and Packing Materials: Designing, Technologies, Application*. St.Petersburg: Book Publishing House "Professia" (in Russian).
7. Klinkov, A. S., Beliaev, P. S., & Sokolov, M. V. (2005) *Utilization and Secondary Processing of Polymer Materials*. Tambov: State University (in Russian).
8. Lox, F. (1992) *Packaging and Ecology*. Leatherhead (United Kingdom), Pira International. 141 p. (Russ. ed.: Lox, F. (1992) *Upakovka i Ekologiya*. Moscow, MGUP).
9. La Mantiya, F. (2007) *Secondary Processing of Plastic Material*. St.Petersburg: Book Publishing House "Professia" (in Russian).
10. Rauwendaal, K. (2008) *Polymer Extrusion*. – St. Petersburg.: Book Publishing House "Professia" (in Russian).

Поступила 17.09.2013